

偶联剂对稀土荧光竹塑复合材料性能的影响

郑峰^{1,2}, 王艳姍³, 孙盈盈¹, 文月琴¹, 杨文斌¹

1. 福建农林大学材料工程学院, 福州 350002

2. 湖南文理学院, 常德 415006

3. 福建农林大学金山学院, 福州 350002

摘要 为研究马来酸酐接枝聚乙烯(MAPE)、异丙基三(硬脂酰基)钛酸酯(YB-510)、 γ -(2,3-环氧丙氧)丙基三甲氧基硅烷(KH-560)3种偶联剂对稀土荧光竹塑复合材料发光性能、力学性能和热稳定性的影响,利用荧光分光光度计、电子万能试验机、摆锤冲击仪和热重分析仪对复合材料的荧光性能、力学性能和热稳定性进行了表征,并利用场发射扫描电子显微镜(FESEM)对稀土荧光竹塑复合材料的拉伸断面的微观形貌进行观察。结果表明,3种偶联剂都能改善稀土荧光竹塑复合材料的分散性、流动性、发光性能、弯曲强度、弯曲模量、拉伸强度和冲击强度;场发射扫描电镜显示,铝酸锶荧光粉在有偶联剂添加的稀土荧光竹塑复合材料的基体中分散均匀、团聚减少、界面黏合作用改善;相比于钛酸酯(YB-510)和KH-560,MAPE对稀土荧光竹塑复合材料的发光性能、力学性能和分散性提高更明显;热失重(TG)曲线和一阶微分(DTG)曲线分析表明,KH-560提高稀土荧光竹塑复合材料的热稳定性,钛酸酯(YB-510)对稀土荧光竹塑复合材料的热稳定性产生不良影响,MAPE对稀土荧光竹塑复合材料的热稳定性的影响不明显。

关键词 偶联剂;马来酸酐接枝聚乙烯;竹粉;铝酸锶荧光粉;发射光谱;热稳定性

稀土荧光竹塑复合材料是由竹塑复合材料中添加一定量的稀土离子激活的发光材料制备而成。稀土荧光竹塑复合材料具有竹塑复合材料的化学性质稳定、机械强度高、易于加工成型、可回收利用、低碳环保的特点,也具有稀土发光材料的发光特性。稀土发光竹塑复合材料在建筑、交通、轻工、照明、装饰材料等领域具有广阔的应用前景^[1]。复合材料中的竹纤维是一种不均匀的天然高分子材料,表面具有大量的羟基、酯基等极性官能团,具化学极性,稀土荧光粉是一种无机物,表面含有大量的羟基,同样具有化学极性而聚合物多为非极性的。聚合物与竹纤维和稀土荧光粉间的界面浸润性差,界面粘结强度低,使得应力在界面不能有效传递,从而使稀土荧光竹塑复合材料的性能降低^[2],因此需要添加偶联剂,以改善界面相容性,提高复合材料的性能。偶联剂是指能改善复合材料界面特性的一类物质,主要用于高分子复合材料之中^[3]。偶联剂自身结构独特,其分子结构当中同时带有两个不同极性的基团,一个基团能与极性物质亲近,另一个基团能与聚合物亲近或发生反应结合,充当极性物质与

非极性物质之间界面结合的桥梁,竹塑复合材料中添加偶联剂,可以改善竹纤维与树脂之间的相容性和界面结合强度,提高复合材料的流动性能,使得竹塑复合材料易于加工,性能增强^[4]。国内外对偶联剂在增强植物纤维与树脂基复合材料界面相容性方面进行了大量研究。如 Laurent 等^[5]、Stark 等^[6]、陈国昌等^[7]、于旻等^[8]深入研究偶联剂对复合材料界面层的形成、性质、微观形貌以及对竹塑复合材料性能的影响。研究结果对竹塑复合材料增强机理、性能提高、界面的优化等方面具有重要的现实意义。

对能够改善竹塑复合材料界面黏合作用的3种常用偶联剂——马来酸酐接枝聚乙烯(MAPE)、异丙基三(硬脂酰基)钛酸酯(YB-510)、 γ -(2,3-环氧丙氧)丙基三甲氧基硅烷(KH-560)对稀土荧光竹塑复合材料性能的影响进行研究,在高密度聚乙烯(HDPE)中添加竹粉、铝酸锶荧光粉($\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$)和偶联剂经密炼和注塑,制备得到稀土荧光竹塑复合材料,分析了这3种偶联剂对稀土荧光竹塑复合材料荧光性能、力学性能和热稳定性的影响。

收稿日期:2015-12-15;修回日期:2015-12-29

基金项目:国家自然科学基金项目(31170535)

作者简介:郑峰,硕士研究生,研究方向为木塑复合材料,电子信箱:ZFSDZD@163.com;杨文斌(通信作者),教授,研究方向为木塑复合材料,电子信箱:fafuywb@163.com

引用格式:郑峰,王艳姍,孙盈盈,等.偶联剂对稀土荧光竹塑复合材料性能的影响[J].科技导报,2016,34(19):64-70;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2016.19.010

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

竹粉, 80~140目, 临安市明珠竹粉有限公司; HDPE, 型号 DMDA-8008, 密度 0.9566 g/cm^3 , 中国石油天然气股份有限公司独山子公司; 铝酸锶荧光粉, 400目, 深圳市耀德兴科技有限公司; YB-510, 国外同类产品, 型号 KR-TTS, 主要成分为异丙基三(硬脂酰基)钛酸酯, 在 30°C 下密度为 $(0.5000 \pm 0.0500) \text{ g/cm}^3$, 常州市亚邦亚宇助剂有限公司; MAPE, 型号 PE-G-1, 密度 0.922 g/cm^3 , 熔融指数 (MFI) 为 $0.1\text{--}0.3 \text{ g/min}$ (在 $190^\circ\text{C}/2.16 \text{ kg}$ 条件下测定), 南京德巴化工有限公司; KH-560, 国外同类产品, 型号 A-187, 密度 1.07 g/cm^3 , 南京市宁偶联剂公司; 无水乙醇和含水 95% 乙醇等。

1.2 实验仪器

密炼机, 型号 Mixer(S(X)-1L-K), 常州苏研科技有限公司; 高速混合机 (SHR-10A), 张家港华明机械有限公司; 塑料注射成型机, 型号 HY-500, 宁波海鹰塑料机械有限公司; 荧光分光光度计, 型号 RF-5301pc, 岛津国际贸易(上海)有限公司; 电子万能试验机, 型号 CMT-6104, 摆锤冲击试验机, 型号 ZBC-25B, 深圳市新三思计量技术有限公司; 场发射电镜, 型号 SigmaHD, 德国卡尔蔡司公司; 热重分析仪 (TGA), 型号 TG 209 F1, 德国 Netzsch 公司。

1.3 实验方法

首先将竹粉过筛, 筛选 80~140 目的竹粉, 在恒温干燥箱 80°C 下干燥 12 h, 铝酸锶荧光粉和 HDPE 在同样条件下干燥 5 h, 干燥后的材料均用自封袋密封备用。按照表 1 称取相应质量的 HDPE、竹粉、铝酸锶荧光粉 ($\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$) 和偶联剂, 将称取的钛酸酯偶联剂和 KH-560 偶联剂分别用 30 ml 的 95% 乙醇稀释, 搅拌均匀后喷洒在竹粉和铝酸荧光粉混合物中高速混合, 在恒温干燥箱 100°C 下干燥 14 h。各组添加定量的高密度聚乙烯 (HDPE) 在高速混合机中混合 10 min, 温度 $100\text{--}110^\circ\text{C}$, 混合物进入密炼机后高温 $160\text{--}170^\circ\text{C}$, 速度 40 r/min, 混合密炼 15 min, 制得复合材料的块状物, 冷却硬化后, 经粉碎机粉碎成颗粒, 最后经注塑机注塑成标准测试样品。注塑机温度设为 (从射嘴开始沿螺杆方向到螺杆根部): 射嘴温度 170°C , 螺杆一段温度 170°C , 螺杆二段温度 165°C , 冷却时间 4 s; 背压压力 7 MPa, 保压速度 14.5 g/s ; 保压

表 1 复合材料的组成成分

Table 1 The components of composites

偶联剂名称组	高密度聚乙烯/g	竹粉/g	铝酸锶荧光粉/g	偶联剂/g	总质量/g
MAPE	204	42	42	12	300
钛酸酯	204	42	42	12	300
KH-560	204	42	42	12	300
空白组	216	42	42	0	300

压力 6 MPa; 射胶压力 1 为 5 MPa, 射胶压力 2 为 5 MPa; 射胶速度 1 为 20.5 g/s , 射胶速度 2 为 20.5 g/s 。

2 测试与表征

2.1 发射光谱测试

采用 RF-5301pc 型荧光分光光度计测试样品的发射光谱, 光源为 150 W 的氙灯, 扫描速度 5500 nm/min , 波长精度 $\pm 1.5 \text{ nm}$, 发射光谱测试条件, 激发波长 320 nm , 发射波长范围为 $400\text{--}630 \text{ nm}$, 激发和发射狭缝宽度分别为 3 nm 和 5 nm 。

2.2 力学性能测试

采用电子万能试验机, 按国家标准 GB/T1040—2006^[9] 方法测试样品的拉伸强度, 形状哑铃型, 以 10 mm/min 的速率对样品进行拉伸, 直到样品拉伸断裂。按国家标准 GB/T9341—2008^[10] 方法测试样品的弯曲强度和弯曲模量, 按国家标准 GB/T1043—2008^[11] 方法测试试样的冲击韧性。冲击强度的测试为缺口冲击。每组测 5 个样品, 测试后每组数据取平均值和标准方差。

2.3 场发射扫描电镜 (FESEM) 测试

选取横断面相对平整的稀土荧光粉的拉伸试样, 截取其厚度 2 mm 左右, 将其平放于样品托上, 用导电胶粘牢后放入真空镀膜仪中对断面进行喷金处理, 利用卡尔蔡司场发射扫描电子显微镜 (FESEM), 测试电压 3 kV, 观察每组稀土荧光竹塑复合材料拉伸断面的微观形貌。

2.4 热重 (TG) 分析测试

研磨干燥 12 h 后的样品, 利用热重分析仪进行分析, 采用氮气保护模式, 称取约 6 mg 的试样, 扫描温度范围 $30\text{--}600^\circ\text{C}$, 升温速率为 10°C/min , N_2 流率为 50 mL/min 。

3 结果与分析

3.1 偶联剂对稀土荧光竹塑复合材料的发射光谱的影响

图 1 是分别添加 MAPE、钛酸酯和 KH-560 偶联剂的稀土

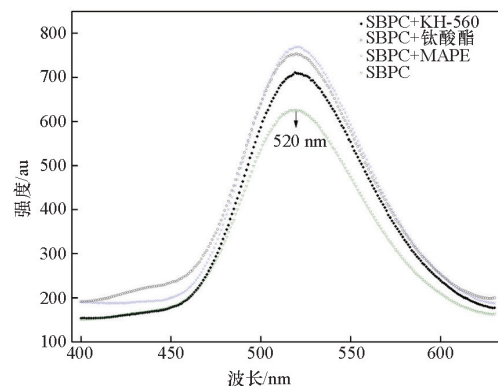


图 1 偶联剂对稀土荧光竹塑复合材料发射光谱的影响 ($\lambda_{\text{ex}}=320 \text{ nm}$)

Fig. 1 Effects of coupling agents on the emission spectrum of rare earth fluorescent bamboo plastic composites ($\lambda_{\text{ex}}=320 \text{ nm}$)

荧光竹塑复合材料的在 320 nm 波长激发下的发色光谱,图中的 SBPC 代表空白组即没有添加任何偶联剂的稀土荧光竹塑复合材料。其发射峰均匀对称,峰值出现在 520 nm 附近,表明稀土荧光竹塑复合材料具有发光功能,为人眼感觉舒适的绿色光。复合材料的发射光谱具有宽带分布的特征,是铝酸锶荧光粉($\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$)中的发光 Eu^{2+} 电子从激发态 $4f^65d^1$ 跃迁回基态 $4f^7$ 的特征峰^[12]。添加 MAPE、钛酸酯和 KH-560 的稀土荧光的相对发光强度均高于没有添加偶联剂的空白组的相对发光强度,主要原因在于空白组中铝酸锶荧光粉在基体中分散不均匀,团聚现象严重,团聚的荧光粉颗粒内部接触不到光线没有被激发,不能发光,并且由于空白组在 170℃ 密炼室中流动性相对于其他组较差,加工过程中荧光粉和密炼机内铁壁摩擦概率增大,部分荧光粉颗粒遭到机械破坏,荧光淬灭现象较严重,添加偶联剂后稀土荧光竹塑复合材料的分散性和流动性提高并且界面粘合改善^[13]。添加马来酸酐接枝聚乙烯(MAPE)的复合材料的发光性能最好,说明添加 MAPE 的稀土荧光竹塑复合材料分散性和流动性较好,荧光粉团聚率较低,荧光淬灭较少。

3.2 偶联剂对稀土荧光竹塑复合材料力学性能的影响

3.2.1 偶联剂对稀土荧光竹塑复合材料弯曲强度和模量的影响

如图 2 和图 3 所示,添加 MAPE、钛酸酯和 KH-560 的稀

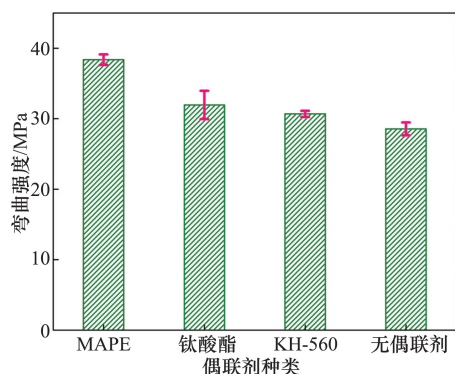


图 2 偶联剂对稀土荧光竹塑复合材料弯曲强度的影响
Fig. 2 Effects of coupling agents on the bending strength of rare earth fluorescent bamboo plastic composites

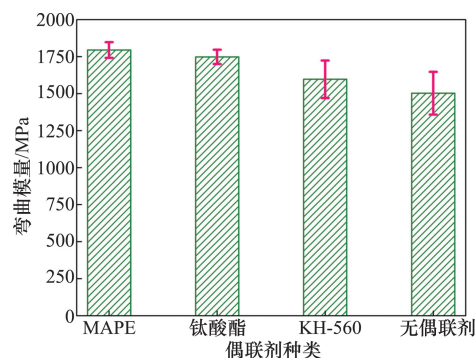


图 3 偶联剂对稀土荧光竹塑复合材料弯曲模量的影响
Fig. 3 Effects of coupling agents on the bending modulus of rare earth fluorescent bamboo plastic composites

土荧光竹塑复合材料的弯曲强度和模量均高于空白组(无偶联剂)的弯曲强度和模量,添加 MAPE 的稀土荧光竹塑复合材料的弯曲强度和模量最大,弯曲强度为 38.36 MPa 比空白组的弯曲强度 28.55 MPa 高出 34.36%,弯曲模量为 1793.92 MPa 比空白组的弯曲模量 1502.42 MPa 高出 19.40%。主要原因是偶联剂改善了铝酸锶荧光粉和竹纤维(竹粉)与 HDPE 的界面,使得聚合物与填料之间的相容性提高,发生相互交叉和缠绕的物理作用更强,增强了稀土荧光竹塑复合材料的弯曲强度和模量^[14]。相比于其他两种偶联剂,MAPE 对弯曲强度和模量的提高更明显。

3.2.2 偶联剂对稀土荧光竹塑复合材料的拉伸强度和冲击强度的影响

如图 4 和图 5 所示,添加 MAPE、钛酸酯和 KH-560 的稀土荧光竹塑复合材料的拉伸强度和冲击强度均高于空白组(无偶联剂)的拉伸强度,添加 MAPE 的复合材料的拉伸强度和冲击强度最大,拉伸强度为 24.47 MPa 比空白组的拉伸强度 16.12 MPa 高出 51.80%,冲击强度为 10.27 kJ/m^2 ,比空白组(无偶联剂)的稀土荧光竹塑复合材料 6.73 kJ/m^2 高出 52.60%。原因在于偶联剂的添加,提高了复合材料的分散性和流动性,荧光粉和竹粉与 HDPE 分子形成良好的界面粘合,

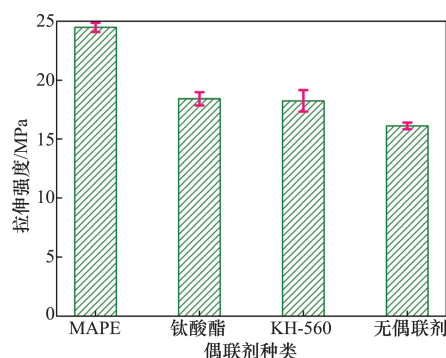


图 4 偶联剂对稀土荧光竹塑复合材料拉伸强度的影响
Fig. 4 Effects of coupling agents on the tensile strength of rare earth fluorescent bamboo plastic composites

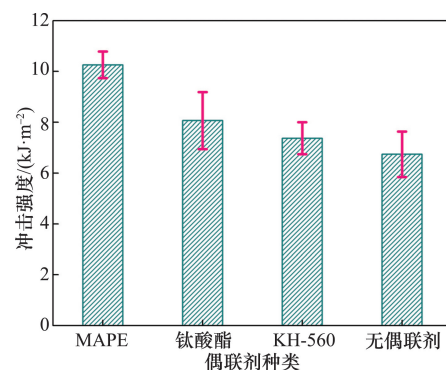


图 5 偶联剂对稀土荧光竹塑复合材料冲击强度的影响
Fig. 5 Effects of coupling agents on the impact strength of rare earth fluorescent bamboo plastic composites

团聚现象较少,利于应力传递,减少了应力的缺陷点,使得聚合物分子与增强体之间接触交叉缠绕的粘合力较强,因此添加偶联剂的复合材料的拉伸强度和冲击强度较好,相比于其他两种偶联剂,MAPE对拉伸强度和冲击强度的提高更明显^[15]。

综上所述,MAPE对稀土荧光竹塑复合材料的弯曲强度和模量、拉伸强度、冲击强度的提高更明显的原因可能是由于:1) MAPE分子量更大,分子链更长,利于与HAPE长分子链物理缠绕粘合作用;2) 分子结构中氧原子多,更容易与填料形成氢键连接;3) MAPE与HDPE大分子链相容性更好,与填料表面化学键连接需要打开—C—O—C—,与填料表面—OH脱水后与填料形成共价键连接比氢键和物理交叉缠绕作用力更强^[16]。

3.3 偶联剂对稀土荧光竹塑复合材料拉伸断面的影响

图6为稀土荧光竹塑复合材料拉伸断面的场发射电镜图。添加偶联剂的荧光粉在基体中出现团聚和裸露现象较少,分散性较好,相对于其他两种偶联剂,添加MAPE的复合材料分散性最好,没有添加偶联剂的空白组稀土荧光竹塑复合材料的拉伸断面出现很多小空穴,可能是部分竹纤维拉断后所致,也可观察到铝酸锶荧光粉分散性较差,裸露现象较多。说明没有偶联剂,荧光粉、竹粉、HDPE三者之间的界面结合不良,荧光粉颗粒容易团聚和裸露,在拉力的作用下荧光粉颗粒发生脱离现象的概率增大,添加偶联剂,荧光粉的分散性改善,拉伸断面更整齐,这是影响稀土荧光竹塑复合材料发光性能和力学性能的原因之一。

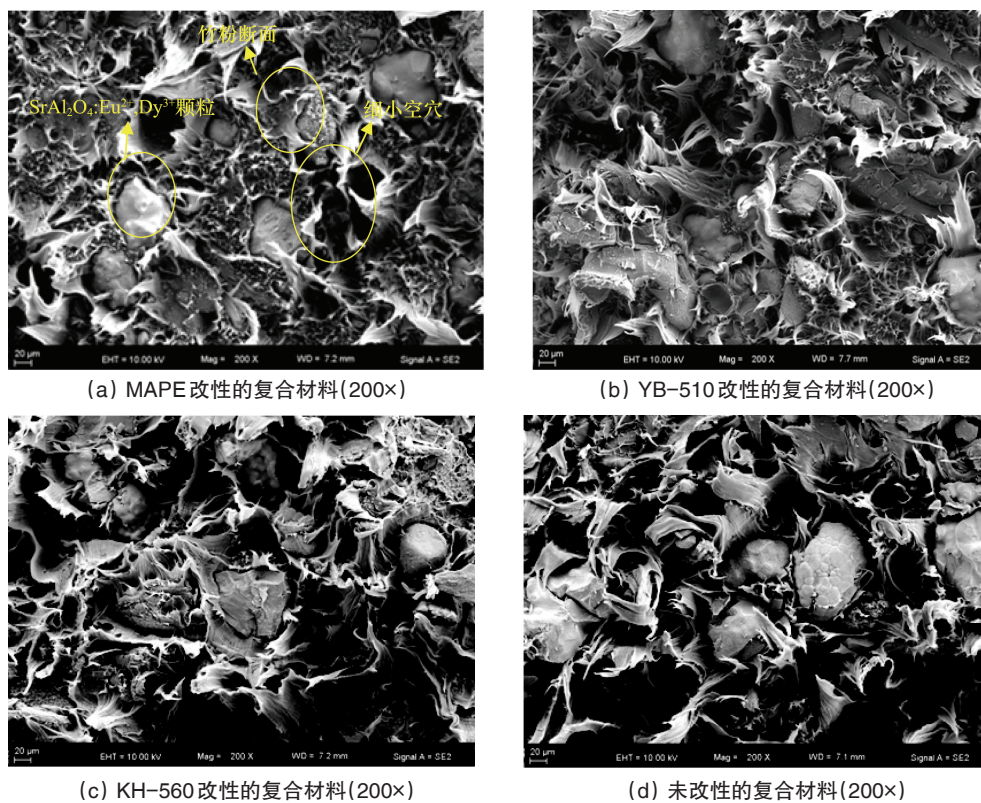


图6 稀土荧光竹塑复合材料的FESEM图

Fig. 6 FESEM photos of rare earth fluorescent bamboo plastic composites

3.4 偶联剂对稀土荧光竹塑复合材料的热重的影响

图7和图8为分别添加MAPE、钛酸酯和KH-560三种偶联剂和空白组的稀土荧光竹塑复合材料在氮气氛围中,30~600℃范围内的热失重(thermogravimetric, TG)和一阶微分(derivative thermogravimetric, DTG)曲线,图中的SBPC代表空白组即没有添加任何偶联剂的稀土荧光竹塑复合材料;表2为添加偶联剂的稀土荧光竹塑复合材料和空白组的TG分析特征数据。

如图7和图8所示,稀土荧光竹塑复合材料的热失重为双阶失重过程,第一阶段热失重发生在195~365℃,主要为竹粉的热降解引起的^[17];第二阶段热失重发生在365~495℃,

主要为HDPE的热降解引起的,剩余质量主要为未热降解的铝酸锶荧光粉。

由图7和表2可知,添加KH-560的稀土荧光竹塑复合材料开始失重温度(initiation temperature, T_i)最高,开始失重温度为207.7℃,比空白组 T_i 201.5℃提高3.2℃,热失重20%时温度 $T_{20\%}$ 为458.7℃比空白组 $T_{20\%}$ 450.5℃高出8.2℃,热失重50%时温度 $T_{50\%}$ 为478.7℃比空白组 $T_{50\%}$ 473.8℃高出4.9℃;添加钛酸酯的复合材料的 T_i 为196.5℃,比空白组 T_i 201.5℃低5℃。由图8和表2可知,MAPE对复合材料的最大失重速率温度 T_{max1} 和 T_{max2} 的影响并不明显,添加KH-560的复合材料的最大失重速率温度 T_{max1} 和 T_{max2} 略高于空白组的 T_{max1} 和 T_{max2} ,钛酸酯

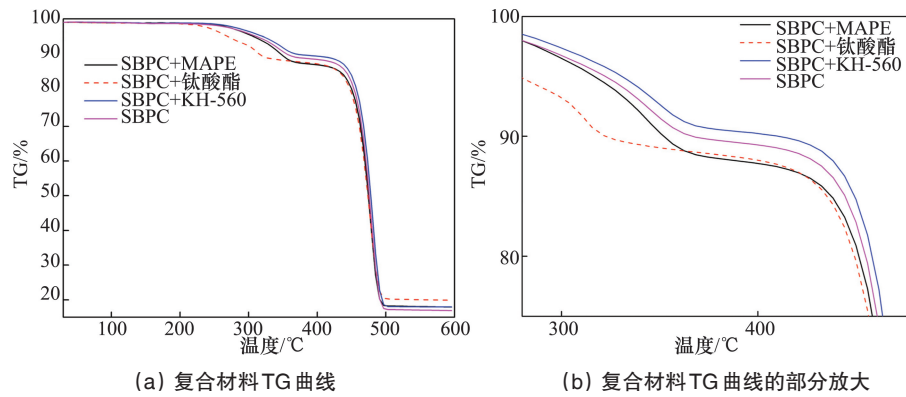


图7 稀土荧光竹塑复合材料的TG曲线

Fig. 7 Thermal gravimetric curves of rare earth fluorescent bamboo plastic composites

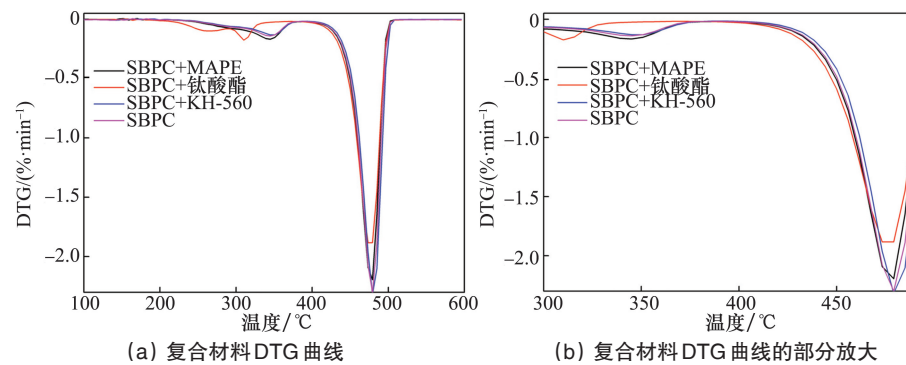


图8 稀土荧光竹塑复合材料的DTG曲线

Fig. 8 First derivative curves of rare earth fluorescent bamboo plastic composites

表2 稀土荧光竹塑复合材料的热降解参数

Table2 Decomposition data of rare earth fluorescent bamboo plastic composites

偶联剂名称组	$T_i/^\circ\text{C}$	$T_{20\%}/^\circ\text{C}$	$T_{50\%}/^\circ\text{C}$	$T_{\max 1}/^\circ\text{C}$	$T_{\max 2}/^\circ\text{C}$
MAPE	202.9	450.3	474.3	344.5	478.3
钛酸酯	196.5	444.7	470.8	310.3	477.1
KH-560	207.7	458.7	478.7	345.1	479.5
空白组	201.5	450.5	473.8	344.2	478.1

略微降低了复合材料的 $T_{\max 1}$ 和 $T_{\max 2}$ 。表明MAPE对复合材料的热稳定性基本没有影响,钛酸酯对复合材料的热稳定性产生不良影响,而KH-560的添加可以增强复合材料的热稳定。主要原因可能是由于:1) 硅烷偶联剂KH-560不仅与竹粉和荧光粉表面的羟基形成氢键结合也发生化学反应形成更稳定、键能更高的Si—O—Al^[18];2) 从力学性能和场发射电镜分析可知,添加KH-560的复合材料的界面改善并不理想,因此较差的界面粘特点阻碍热传导延迟了竹粉和HDPE的热降解。

4 结论

1) 发射光谱表明,添加MAPE、钛酸酯、KH-560偶联剂的稀土荧光竹塑复合材料发射较强的黄绿色光,添加MAPE

的稀土荧光竹塑复合材料的发光效果最好。

2) 力学性能表明,添加MAPE、钛酸酯、KH-560偶联剂的稀土荧光竹塑复合材料的弯曲性能、拉伸强度和冲击强度均优于空白组的力学强度,添加偶联剂后界面粘合作用增强,填料的分散性和加工流动性改善,力学强度增大,添加MAPE的复合材料的具有较好的力学性能。

3) FESEM分析表明,添加MAPE、钛酸酯、KH-560偶联剂的稀土荧光竹塑复合材料的铝酸铈荧光粉均匀分散在基体中,荧光粉团聚现象减少,两相间的界面粘结情况得到改善,可知,偶联剂可以很好地改善竹粉、荧光粉和HDPE的相容性,MAPE改善效果最好。

4) TG分析表明,稀土荧光竹塑复合材料的热失重为双阶失重过程,第一阶段为竹粉热降解阶段,温度在195~365 $^\circ\text{C}$,第二阶段为基体HDPE热降解阶段,温度在365~495 $^\circ\text{C}$,MAPE对稀土荧光竹塑复合材料的热稳定性基本没有影响,钛酸酯对稀土荧光竹塑复合材料的热稳定性产生不良影响,KH-560对稀土荧光竹塑复合材料的热稳定性有提高作用。

参考文献(References)

- [1] Pogreb R, Popov O, Lirtsman V, et al. Luminescent properties of PP and LDPE films and rods doped with the Eu(III)-La(III) complex[J].

- Polym Advantechol, 2006(3): 20-25.
- [2] 李阳, 李大纲, 徐朝阳, 等. 纳米纤维素增强聚苯胺复合材料的制备及性能[J]. 科技导报, 2014, 32(4/5): 65-68.
Li Yang, Li Dagang, Xu Chaoyang, et al. Preparation and properties analysis of nanocellulose reinforced polyaniline composites[J]. Science & Technology Review, 2014, 32(4/5): 65-68.
- [3] 王洪宇, 隋国鑫. 文冠果壳纤维/高密度聚乙烯复合材料的力学性能[J]. 科技导报, 2014, 32(9): 21-25.
Wang Hongyu, Sui Guoxin. Mechanical properties of xanthoceras sorbifolia husk fibers/high density polyethylene composites[J]. Science & Technology Review, 2014, 32(9): 21-25.
- [4] Han G, Lei Y, Wu Q, et al. Bamboo-fiber filled high density polyethylene composites: Effect of coupling treatment and nanoclay[J]. Journal of Polymers and the Environment, 2008, 16(2): 123-130.
- [5] Laurent M M, Raymond T W, John J B, et al. Influence of interfacial on the properties of PVC/cellulosic fiber composites[J]. Polymer Composites, 1998, 19(4): 446-455.
- [6] Stark N M, Matuana L M, Clemons C M. Effect of processing method on surface and weathering characteristics of wood-flour/HDPE composites [J]. Applied Polymer Science, 2004, 9(3): 1021-1030.
- [7] 陈国昌, 李超勤, 刘莉, 等. 相容剂对聚丙烯/木粉复合材料的影响[J]. 塑料, 2005, 34(2): 67-69.
Chen Guochang, Li Chaoqi, Liu Li, et al. Effects of compatibilizer on polypropylene/wood powder composite[J]. Plastics, 2005, 34(2): 67-69.
- [8] 于旻, 何春霞, 刘军军, 等. 不同表面处理麦秸秆对木塑复合材料性能的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9): 171-177.
Yu Min, He Chunxia, Liu Junjun, et al. Effects of different surface treatment for wheat straw on performances of wood-plastic composites[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(9): 171-177.
- [9] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 1040—2006 塑料拉伸性能试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
China National Standardization Management Committee. GB/T 1040—2006 Plastics—determination of tensile properties[S]. Beijing: China Standards Press, 2006.
- [10] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 9341—2008 塑料弯曲性能试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
China National Standardization Management Committee. GB/T9341—2008 Plastics—determination of bending properties[S]. Beijing: China Standards Press, 2008.
- [11] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 1043—2008 硬质塑料简支梁冲击试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
China National Standardization Management Committee. GB/T 1043—2008 Hard plastic beam impact test method[S]. Beijing: China Standards Press, 2008.
- [12] Wang C, Xuan T, Liu J, et al. Long after glow SrAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺ phosphors as luminescent down-shifting layer for crystalline silicon solar cells[J]. International Journal of Applied Ceramic Technology, 2014, 12(5): 68-73.
- [13] Kshatri D S, Mishra S, Khare A. Synthesis of nanocrystalline SrAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺ phosphor by combustion technique and its luminescent properties [J]. International Journal of Advanced Engineering Research & Technology, 2015, 13(5): 268-273.
- [14] Araujo J R, Mano B, Teixeira G M. Biomicrofibrillar composites of high density polyethylene reinforced with curauá fibers: Mechanical, interfacial and morphological properties [J]. Composites Science and Technology, 2010, 70(11): 1637-1644.
- [15] Donath S, Militz H, Mai C. Wood modification with alkoxysilanes [J]. Wood Science and Technol, 2004, 3(8): 555-660.
- [16] Xu M, Cai Z. Different modifier on the properties of wood plastic composite impact study[J]. Journal of Forestry Research, 2004, 15(1): 77-79.
- [17] Tomczak F, Satyanarayana K G, Sydenstricker T H D. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil Part III: Morphology and properties of Brazilian curauá fibers[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2007, 3(8): 2227-2236.
- [18] Jin P S, Sook C K. Filler-elastomer interactions: influence of silane coupling agent on crosslink density and thermal stability of silica/rubber composites[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2003, 26(7): 86-91.

Effects of coupling agents on the properties of rare earth fluorescent bamboo plastic composites

ZHENG Feng^{1,2}, WANG Yanshan³, SUN Yingying¹, WEN Yueqin¹, YANG Wenbin¹

1. College of Materials Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

2. Hunan University of Arts and Science, Changde 415006, China

3. Jinshan College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

Abstract In order to investigate the effects of three coupling agents (MAPE, YB-510, KH-560) on the luminescence property, the mechanical property and the thermal stability of the rare earth fluorescent bamboo plastic composites, the fluorescence spectrophotometer, the electronic universal testing machine, the pendulum impact tester and the thermogravimetric analyzer are employed, in addition, the tensile fracture microstructures of the rare earth fluorescent bamboo plastic composites are observed by the field emission scanning electron microscopy (FESEM). The results show that the three coupling agents can improve the dispersion, the fluidity, the luminescence property, the bending strength, the bending modulus, the tensile strength and the impact strength of the rare earth fluorescent bamboo plastic composites. The scanning electron microscopy shows that the dispersibility and the interface bonding of the strontium aluminate phosphor are improved in the composites by using the coupling agent, the birdnesting is decreased too. The MAPE is better in improving the properties of the rare earth fluorescent bamboo plastic composites than the YB-510 and the KH-560. The thermogravimetric (TG) and derivative thermogravimetric (DTG) curves of the rare earth fluorescent bamboo plastic composites indicate that the KH-560 is better to improve the thermal stability of the rare earth fluorescent bamboo plastic composites, the YB-510 has an adverse effect on the thermal stability of the composites, and the MAPE has no effect on the thermal stability of the composites.

Keywords coupling reagent; maleic anhydride grafted polyethylene; bamboo powder; strontium aluminate phosphors; emission spectrum; thermostability

(编辑 傅雪)